Densitometría Ósea

Generalidades

En los últimos años la densitometría ósea se ha convertido en una técnica diagnóstica esencial para la valoración indirecta de la resistencia de los huesos y el análisis del riesgo de fractura individual. Desde las fases más precoces de su desarrollo, esta fascinante técnica ha combinado aspectos relacionados con la física, el análisis cuantitativo, la estadística y la imagen.

Como indica su denominación, la principal aplicación de este método es la medición cuantitativa de la densidad de los depósitos minerales de los huesos, que condicionan sus propiedades mecánicas. Las personas que cuentan con una densidad mineral ósea (DMO), significativamente más baja que otras de similar edad y sexo, son más susceptibles de padecer fracturas. La DMO justifica hasta un 85% de la resistencia efectiva del esqueleto y por este motivo la medición de la DMO es tan importante para la evaluación del estado del esqueleto y por tanto en el diagnóstico de la osteoporosis. La densidad mineral ósea (DMO) no es el único determinante de fractura solo mide el contenido mineral óseo (CMO), no su calidad ni su geometría.

La osteoporosis, como su nombre lo indica "hueso poroso", se caracteriza por la pérdida de minerales óseos y de la matriz de colágeno. La osteoporosis es la disfunción metabólica ósea más común que da como resultado fracturas osteoporóticas, las cuales resultan en una reducción de la calidad de vida y en enormes costos por su tratamiento. Aunque la osteoporosis es una condición que se asocia con la disminución generalizada de la masa ósea en todo el esqueleto, la tasa de recambio metabólico y la pérdida ósea no es uniforme en todos los componentes del esqueleto. Los sectores del esqueleto que habitualmente son considerados como "patrón" en el diagnóstico de osteoporosis son la columna lumbar y el tercio proximal del fémur.

La región de interés preferida por su mayor reproducibilidad es aquella que abarca las cuatro primeras vértebras (L1-L4) en la proyección postero-anterior. Ocasionalmente pueden darse condiciones que afecten a los resultados de alguna vértebra. En esta situación deben ser excluidas de la valoración global, como ocurre ante los aplastamientos o acuñamientos vertebrales, osteoartritis, escoliosis, artefactos de origen quirúrgico, etc. Una exploración de columna puede estimarse como válida si se pueden utilizar al menos dos vértebras. Otra de las regiones estándar es el antebrazo. Esta región debe ser medida cuando la cadera y la columna no pueden ser medidas con exactitud. La fractura de cadera es la complicación más seria de la osteoporosis:

- Genera incapacidad permanente en más del 30% de los pacientes.
- Entre el 12 y el 21% de los pacientes con fractura de cadera mueren en el transcurso del año siguiente al evento.
- Más del 50% son incapaces de retornar a su vida normal e independiente.

La densitometría ósea puede detectar la osteoporosis en su etapa precoz para así comenzar un tratamiento en una fase temprana y evitar en la medida de lo posible, la presentación de fracturas. Una de las principales utilidades de la densitometría ósea es el seguimiento de los cambios en el contenido mineral de una región ósea. Es posible, por tanto, la cuantificación en cada paciente de los cambios óseos que se dan con el envejecimiento, en enfermedades o ante factores secundarios. Es muy importante también su aplicación para valorar la eficacia de los tratamientos específicos. En los pacientes que no reciben tratamiento, es importante conocer si existen pérdidas de masa ósea y su cuantía. En cambio, en aquellos que sí reciben una terapia específica, el objetivo de las mediciones seriadas con densitometría es detectar los pacientes que mantienen una pérdida significativa a pesar de esta.

La densitometría ósea es un examen radiológico ambulatorio. No es dolorosa. Una máquina de densitometría puede calcular la densidad del hueso. Ésta crea un gráfico que compara la densidad ósea del paciente con la densidad que debería tener. La densidad es la cantidad de calcio detectada en el hueso. Cuanta más alta sea la densidad, más fuerte es el hueso.

Descripción general.

La densitometría ósea (DO) es una manera segura, efectiva, no invasiva e indolora de obtener información importante sobre los huesos. La DO mide la densidad mineral ósea (DMO o BMD por sus siglas en inglés) de una persona. Mientras menor sea la densidad de un hueso, mayor será el riesgo de fracturas. Bajo la denominación de densitometría ósea se incluyen varias técnicas que permiten de forma directa el cálculo preciso y fiable de la masa ósea. En su mayoría, estas técnicas se basan en el uso de los rayos X, pero también se utiliza el ultrasonido. Desde un punto de vista operativo, estas técnicas pueden ser clasificadas en dos tipos:

- **Densitometría central** o axial mide la DMO en cualquier región del esqueleto (o incluso en el esqueleto completo), con aplicación al análisis de la composición corporal.
- **Densitometría periférica** mide la masa ósea en una única región ósea, y localizada en el esqueleto periférico (extremidades).

La densitometría central aventaja a la densitometría periférica en cuanto al rendimiento diagnóstico, debido a su capacidad para explorar las regiones de mayor interés clínico. Puede realizar las mediciones en las regiones que cuentan con una mayor riqueza de hueso trabecular (esponjoso), que solo constituye el 20% de la masa ósea del esqueleto, pero que justifica el 80% del metabolismo óseo, debido a su mayor vascularización, superficie y proximidad con la médula ósea. Se considera que el hueso trabecular es 10 veces más activo metabólicamente, que el componente cortical (compacto). La mayor calidad en la capacidad de predicción de fracturas por la densitometría se obtiene cuando las mediciones se efectúan en la misma región que se desea evaluar. La importancia clínica de las fracturas de columna y fémur proximal, y el hecho de disponer de una mayor proporción de hueso trabecular, convierten a estas regiones en las preferidas para el diagnóstico de osteoporosis.

Índices de medición en densitometría

En todas las técnicas de densitometría, los resultados relativos se ofrecen de forma similar. Se utiliza el índice T (conocida también como T-*score*) y el índice Z (conocida también como Z-*score*).

El índice T indica la cantidad de hueso que tiene el paciente comparado con un adulto joven del mismo sexo con una masa ósea máxima (promedio de 30 años de edad). Un puntaje de más de –1 se considera normal. Un puntaje entre –1 y –2.5 se clasifica como osteopenia, que es la primera etapa de pérdida ósea. Un puntaje de menos de –2.5 se define como osteoporosis. Este índice se utiliza para calcular su riesgo de sufrir una fractura. El índice T permite, gracias a criterios diagnósticos aceptados por la OMS:

- Afirmar o descartar la presencia de la enfermedad, en este caso osteopenia u osteoporosis;
- Graduar la severidad de la desmineralización analizando el riesgo de fractura regional y general. Sin embargo, el índice T no sirve para la monitorización de los pacientes.

El índice Z indica la cantidad de hueso que tiene el paciente en comparación con otras personas de su edad, y del mismo tamaño y sexo. Si es anormalmente alto o bajo, puede significar que hay que hacer otros exámenes médicos. También se utiliza como elemento diagnóstico en la población infantil o adolescente, que aún no ha alcanzado la madurez de su esqueleto.

En la DO se evalúan los resultados de la exploración como medida de densidad con respecto a personas de la misma edad y sexo (índice "Z") y con respecto a personas de 30 años (índice "T"). Los resultados menores de cero (0) implican que existe una disminución en la densidad ósea, sin embargo, los resultados que se deben tomar en cuenta son aquellos cuyos valores son inferiores a –1 (menos uno), ya que los resultados mayores a este valor están dentro de márgenes razonables.

La forma más común para expresar los resultados es:

- Osteopenia: -1 > T > -2.5
- Osteoporosis: T< -2.5

Tipos de densitómetros óseos

- Existen dos tecnologías para medir la densidad mineral ósea que permite clasificar los densitómetros óseos.

Principios de operación, sistemas operados por medio de rayos X.

Este tipo de sistema usa una fuente de rayos X doble para evaluar la DMO. Esta tecnología se conoce como absorciometría de rayos X de doble energía (dual energy x – ray absorptiometry, DXA o DEXA por sus siglas en inglés). Este método es el más empleado ya que permite la medición en varios sitios y su precisión es mayor.

La exploración utiliza dosis bajas de rayos X que pasan por el cuerpo, y toman una radiografía a nivel de la parte baja de la espina dorsal y de la cadera. Por medio de este sistema se puede medir la densidad de calcio de los huesos. La realización de este estudio es sencilla, y no requiere de preparación por parte del paciente.

La técnica de densitometría ósea más difundida es la absorciometría radiológica de doble energía (DXA). Esta técnica se basa en los trabajos de Cameron y Sorensen en 1963, quienes usaron una fuente emisora de radiación gamma de única energía. La limitación principal de las fuentes monoenergéticas es la presencia de cantidades importantes de tejidos blandos,

como se da en la columna, tronco, cadera o esqueleto completo. Esta limitación se resolvió con el uso de la doble energía, ya que permite la corrección de la variación del grosor de los tejidos blandos. El paso siguiente fue la sustitución de las fuentes emisoras isotópicas, por generadores de rayos X, lo que dio lugar a la absorciometría de doble energía (DXA).

La explicación básica de cómo funcionan este tipo de sistemas consiste en que el haz de radiación de baja energía cede parte de esta energía al interactuar con la materia que atraviesa; dicho de otra forma, el haz de radiación experimenta una atenuación, que depende de la energía de los rayos, de la naturaleza (número atómico) de los componentes que atraviesan y del grosor del material.

Los sistemas de DXA, utilizan dos métodos para crear un espectro de doble energía de una fuente de rayos X. Un método alterna pulsos de bajo voltaje y alto voltaje aplicado al tubo de rayos X. Los valores de atenuación son el resultado de una baja energía y una alta energía de rayos X por lo tanto, son medidos separadamente. El otro método aplica un potencial constante a la fuente de rayos X, utilizando un filtro para separar el espectro de energía dentro de dos bandas estrechas de energía. Un detector de energía con un analizador de doble canal cuenta los fotones resultantes. Las características de atenuación del hueso y del tejido suave varían con la energía de rayos X. El uso de dos energías permite valorar el mineral de hueso y el tejido suave independientemente de su homogeneidad.

Cada escáner DXA utiliza, ya sea un haz de luz acoplado a un detector simple (primera generación) o un haz de luz amplio acoplado a una serie lineal de detectores (segunda generación). El escáner que utiliza un haz de luz realiza una exploración minuciosa en dos dimensiones, mientras que el escáner que utiliza un haz de luz amplio realiza un solo barrido a través del paciente siendo esto mucho más rápido.

Los resultados de las mediciones con DXA se suelen ofrecer en forma de valores absolutos y relativos, es decir, una vez que se han comparado con los valores de referencia. En los resultados absolutos, el contenido mineral óseo en el hueso (CMO o BMC bone mineral content, por sus siglas en inglés) y la densidad mineral del hueso (DMO ó BMD bone mineral density, por sus siglas en inglés) se calculan en g/cm y g/cm2 respectivamente. La medición en g/cm2 es la más difundida cuando se mide la DMO, ya que traslada el contenido mineral en el área proyectada (en dos dimensiones) del hueso explorado.

El sistema DXA es efectivo en predecir riesgos de fracturas en cadera, proporciona también una imagen clara de espacios intervertebrales, especialmente en pacientes con CMO bajo. Las imágenes de alta resolución son compatibles con los sistemas DXA, en un posterior escaneo del mismo paciente aseguran la medición exacta de la región de interés (ver Fig. 1).

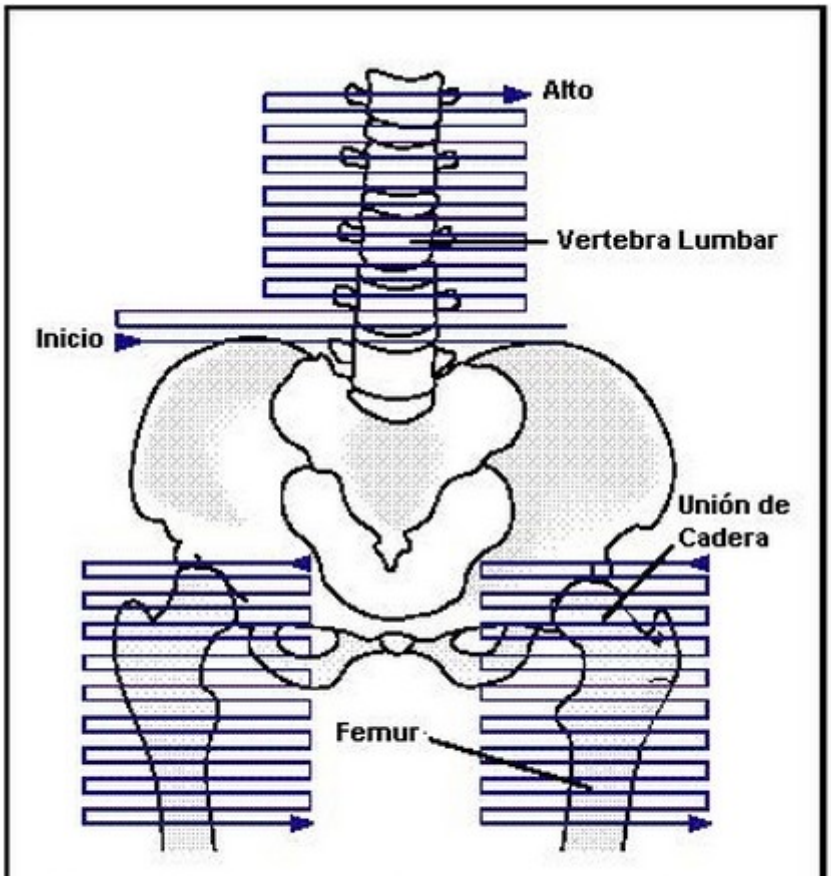

Figura 1. Tipica trayectoria de escaneo para la zona baja de la columna (lumbar) y la región de la cadera

Al igual que otros métodos de evaluación cuantitativos para el mineral del hueso, la utilidad clínica del DXA depende de su precisión, su certeza y su sensibilidad.

- La precisión de cada técnica se basa en la habilidad de reproducir los resultados confiables.
- La certeza se refiere a que tan cerca están las mediciones DXA de reflejar el verdadero valor de CMO.
- La sensibilidad se refiere a la habilidad de detectar lecturas y cambios anormales con el tiempo.

La precisión y la certeza se expresan típicamente como porcentaje del coeficiente de variación (CV) de las mediciones repetidas (al bajar el CV, es más preciso o exacto el método). Un CV de 0.4% a 2% es accesible para los sistemas DXA. Para garantizar lecturas seguras, los sistemas DXA se deben calibrar regularmente, por lo cual, muchos sistemas DXA recientes tienen sistemas internos semiautomáticos de calibración.

Sistemas operados por medio de ultrasonido.

Los equipos para densitometría por ultrasonido ofrecen un sistema que puede estimar la Densidad Mineral del Hueso (DMO) a partir del índice cuantitativo de ultrasonido. Estos sistemas utilizan una fuente de ultrasonido la cual no es irradiante por lo que no se requieren de instalaciones especiales y el operador no requiere contar con una especialidad en radiodiagnóstico. Son aparatos que miden la velocidad del sonido (speed of sound, SOS por sus siglas en inglés), la banda de atenuación de ultrasonidos (broadband ultrasonic attenuation, BUA por sus siglas en inglés) y el índice cuantitativo ultrasónico (quantitative ultrasound index, QUI por sus siglas en inglés) del esqueleto apendicular, a través del calcáneo (talón), falanges (dedos de los pies y dedos de las manos) o la tibia (pierna). Esta información se ofrece en forma de modificación de la velocidad del haz (SOS), atenuación de este (BUA), o una combinación de ambas, en forma de índice de calidad. Por lo general son equipos pequeños y ligeros y de un menor costo que los de sistema de rayos X.

Debido a que las ondas de ultrasonido tienen las propiedades normales de una onda común, como la reflexión, refracción y difracción, se producen ecos cada vez que el haz encuentra impedancias acústicas diferentes, como la del hueso y músculo. Los ecos son creados por dos transductores colocados opuestamente uno con respecto del otro y se puede utilizar para medir el espesor del hueso (ver Fig. 2).

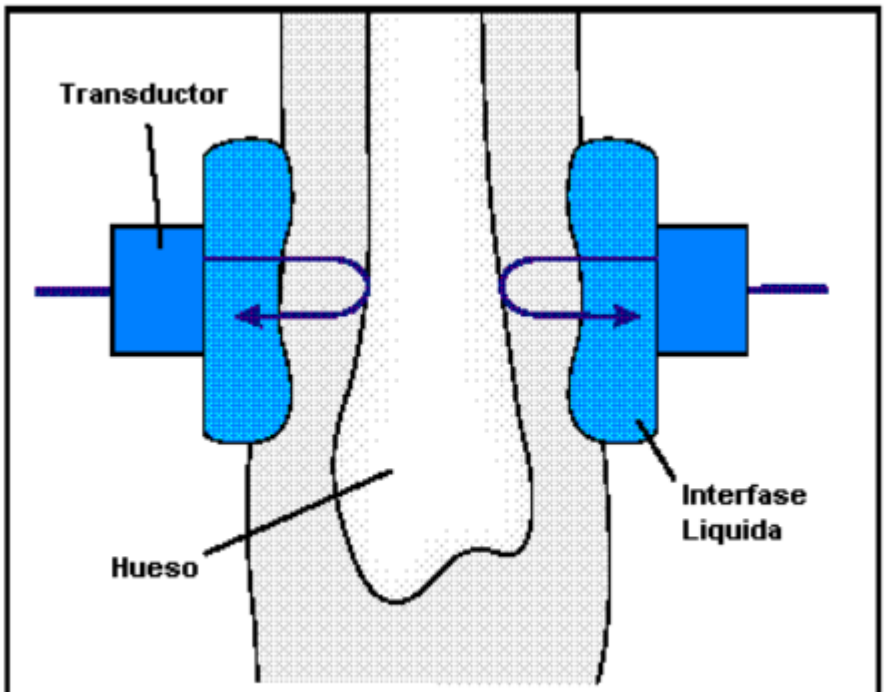

Figura 2. Medición del talón con ultrasonido

Además de producir ecos, las ondas de ultrasonido pueden pasar a través del hueso para ser detectado por el otro transductor. Los sistemas de ultrasonido generan un ancho de banda de energía ultrasónica, entre 0.2 y 0.6 MHz, para pasar por el hueso. Los rangos de atenuación, expresados en decibeles, varían para diferentes frecuencias —la atenuación es más grande a frecuencias más altas—el hueso actúa como un filtro sensible a la frecuencia (ver Fig. 3). La Atenuación del ancho de Banda Ultrasónico (BUA), expresado en decibeles por MHz (dB/MHz), es utilizado como la medida de la fuerza del hueso. El hueso osteoporoso tiene un BUA más bajo que un hueso sano. Otras medidas que se pueden obtener con los sistemas ultrasónicos de densitometría de hueso son la Velocidad del Sonido (SOS), el índice cuantitativo de ultrasonido o la rigidez (una combinación de BUA y SOS). El hueso sano tendrá un SOS y lecturas cuantitativas del índice de ultrasonido más altas que un hueso osteoporoso.

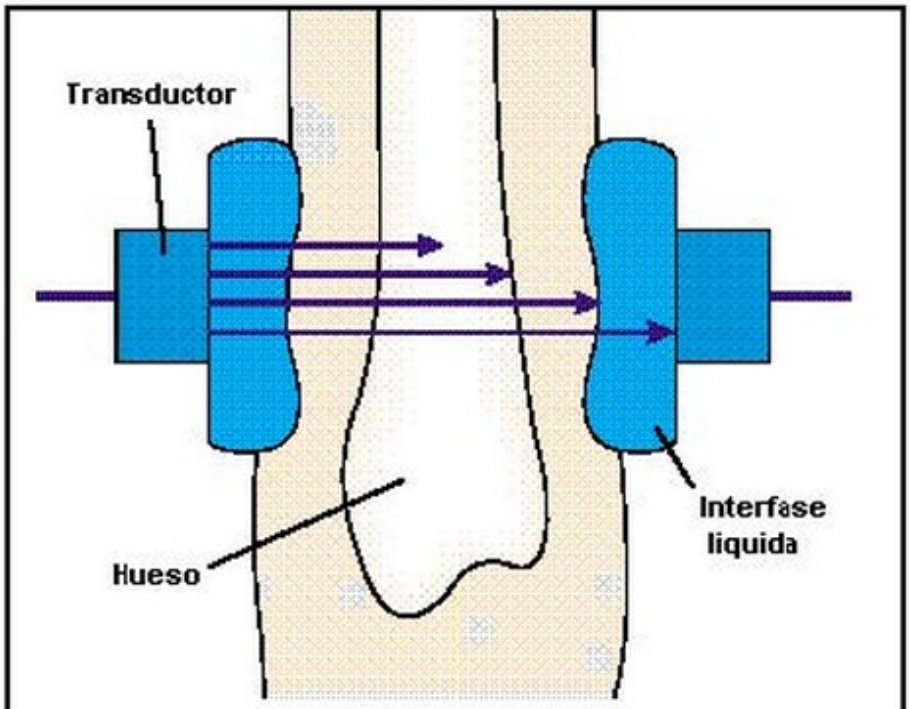

Figura 3. Atenuación del ancho de banda

Los densitómetros por ultrasonido pueden ser "húmedos" o "secos." Ambos sistemas requieren el uso de un líquido que permite la comunicación entre la piel del paciente y los transductores.

- En el sistema húmedo se coloca el talón en un baño de agua controlando la temperatura.
- En el sistema seco, los transductores que son colocados directamente a la piel del paciente utilizando un gel para ultrasonido como medio de conductor de este.

Hay equipos de densitometría de hueso por ultrasonido que utilizan la técnica seca solo a partir del ultrasonido cuantitativo axial, que se basa en la medida del SOS a lo largo del hueso (mano o muñeca). Las ondas de ultrasonido se transmiten sucesivamente y son recibidas por los transductores colocados en un probador portátil. El SOS es determinado midiendo la propagación del tiempo en diferentes trayectorias.

Efectos secundarios y riesgos

Las proporciones altas de grasa encontradas por los rayos X en el tejido suave y la médula ósea, pueden causar un valor incorrecto de CMO y DMO. Las medidas en la composición del cuerpo pueden variar en los sistemas DXA; por lo tanto, se sugiere desarrollar un patrón de medidas del tejido suave para todos los sistemas DXA utilizados en la investigación de la composición del cuerpo y poder calibrar estos equipos antes de su uso. Por otro lado, la precisión y reproducción de resultados de los equipos de ultrasonido dependen del posicionamiento de los transductores.

Las variaciones en mediciones realizadas a pacientes se han reportado con mayor frecuencia que las realizadas con equipos DXA. Por lo tanto, el sistema de ultrasonido no es tan preciso como el sistema DXA. Algunos expertos creen que estos resultados pueden ser de gran utilidad como herramientas preliminares de detección que pueden ayudar a identificar a las personas que puedan tener osteoporosis. Sin embargo, como la densidad ósea puede variar dependiendo de la parte del cuerpo en donde se mide, es posible que estos aparatos no reflejen el verdadero riesgo de sufrir una fractura.

Las diferentes metodologías para la densitometría, tales como el diseño de escáner, la calibración y los algoritmos del análisis han tenido como resultado una variación considerable de sistemas. Las fórmulas de conversión se han desarrollado basadas en las medidas de la columna vertebral para estandarizar los diferentes escáneres de DXA, por lo tanto, esto causa un conflicto entre los fabricantes. Los esfuerzos de estandarizar las lecturas de DXA, así como estandarizar las lecturas de densitometría por ultrasonido, están bajo consideración.

Densitómetro óseo con tecnología DEXA o DXA

- Generador de rayos X de energía doble con tecnología DEXA o DXA
- Con tecnología Fan Beam
- Con precisión del 1% o menor
- Dosis al paciente de 10 mRem o menor en columna y fémur y de 5 mRem o menor en antebrazo
- Tiempo de exploración de 180 seg o menor para columna AP, fémur, o cadera
- Índice T e Índice Z

Sistema de densitometría ósea para cuerpo completo

- Con tecnología DEXA o DXA
- Con tecnología Fan Beam
- Con precisión para columna y fémur menor al 1%
- Dosis al paciente para columna AP y fémur menor a 5 mRem ó 0.07 mGy y para cuerpo completo de 0.05 mRem ó 0.015 mGy.
- Tiempo de exploración de 10 min o menor en cuerpo completo con análisis de composición corporal.
- Programa para análisis de composición corporal
- De 16 detectores o mayor.

Densitómetro óseo menor para calcáneo

- Precisión de 3% o menor comparable con DEXA.
- Transductores con frecuencia de 500 kHz o mayores situados a los lados del talón.
- Tiempo de examen o medición de un minuto o Con capacidad para medir la velocidad del sonido o SOS y la atenuación de las ondas sonoras o BUA, correlación entre la densidad ósea del calcáneo y el riesgo de fractura o índice Stiffness como T score y Z score para el diagnóstico de osteoporosis.

Bibliografía:

1. *Camacho PM, Petak SM, Binkley N, Clarke BL, Harris ST, Hurley DL, et al. Guías de práctica clínica de la Asociación Americana de Endocrinólogos Clínicos y el Colegio Americano de Endocrinología para el diagnóstico y tratamiento de la osteoporosis posmenopáusica - 2016. Endocr Pract. 2016;22(Suplemento 4):1–42. Disponible en: https://journals.aace.com/doi/pdf/10.4158/EP161435.GL*
2. *Cummings SR, Melton LJ. Epidemiología y resultados de fracturas osteoporóticas. Lancet. 2002;359(9319):1761–7.*
3. *Lewiecki EM. Resumen de la absorciometría de rayos X de energía dual. UpToDate. [Actualización en 2022]. Disponible en: https://www.uptodate.com/contents/overview-of-dual-energy-x-ray-absorptiometry*
4. *Genant HK, Wu CY, van Kuijk C, Nevitt MC. Evaluación de fracturas vertebrales utilizando una técnica semicuantitativa. J Bone Miner Res. 1993;8(9):1137–48. Disponible en: https://asbmr.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/jbmr.5650080915*
5. *Hans D, Downs RW, Duboeuf F, Greenspan S, Jankowski LG, Kiebzak GM, et al. Sitios esqueléticos para el diagnóstico de osteoporosis: las posiciones oficiales 2005 de la ISCD. J Clin Densitom. 2006;9(1):15–21. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16584956/*
6. *Hans D, Barthe N, Boutroy S, Pothuaud L, Winzenrieth R, Krieg MA. Correlaciones entre la puntuación del hueso trabecular, medida utilizando la adquisición de absorciometría de rayos X bidimensional anteroposterior, y parámetros tridimensionales de la microarquitectura ósea: un estudio experimental en vértebras cadavéricas humanas. J Clin Densitom. 2011;14(3):302–12. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21875777/*

Xavier Pardell